Науковий вісник Ужгородського університету
Серія Біологія, Випуск 45 (2018): 7–14
© Кривцова М.В., Бобрик Н.Ю., Шимон Л.,
Саламон І., Білак О.М. 2018

МІКРОБІОТА РИЗОСФЕРИ *SALIX SP.* ЗА УМОВ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ АГРОТЕХНІЧНИХ ПРИЙОМІВ

Кривцова М.В.[1], Бобрик Н.Ю.[2], Шимон Л.[3], Саламон І.[4], Білак О. М.[1]

Мікробіота ризосфери Salix sp. за умов використання різних агротехнічних прийомів. – М.В. Кривцова, Н.Ю. Бобрик, Л. Шимон, І. Саламон, О.М. Білак. – *Проаналізовано кількісні показники мікробоценозу ризосфери деяких видів енергетичної верби (Salix viminalis, Salix triandra x Salix viminalis 'Inger') при внесенні різних видів добрив та без удобрення. Встановлено, що при зниженій кількості мікроорганізмів ґрунт за умов вирощування верби характеризується високою інтенсивністю мінералізаційних процесів порівняно з плодовими культурами (Malus sp.). Достовірне підвищення чисельності мікроорганізмів у деяких еколого-трофічних групах у ризосфері верби реєстрували при внесенні муніципального компосту компонентів стічних вод.*
Ключові слова: *біоремедіація, ґрунтова мікробіота, мінералізаційні процеси, азотфіксатори, енергетичні культури.*
Адреси: *1 – ДВНЗ «Ужгородський національний університет», біологічний факультет, кафедра генетики, фізіології рослин і мікробіології, Ужгород, Україна; e-mail: maryna.krivcova@gmail.com*
2 – Клініка «Гемо Медика», Ужгород, Україна; e-mail: nadyabobryk88@gmail.com
3 – Ніредьхазький університет, Інститут інженерних та сільськогосподарських наук, кафедра сільськогосподарських наук та управління навколишнім середовищем, Ніредьхаза, Угорщина; e-mail: simon.laszlo@nye.hu
4 – Пряшівський університет, факультет гуманітарних та природничих наук, кафедра екології, Пряшев, Словакія; e-mail: ivan.salamon@unipo.sk

Microbiota of rhizosphere Salix sp. in different agrotechnical practice. – M. V. Kryvtsova, N. Yu. Bobryk, L. Simon, I. Salamon, O. M. Bilak. – *The study has established the regularities of distribution of certain physiological groups of microbial cenosis in conditions of growing of fruit and energy plants. In case of willow, the numbers of ammonifiers, micromycetes, actinomycetes, cellulolytic and oligonitrophilic microorganisms were observed to reduce compared to the control. In case of apple-trees, the number of microorganisms was higher but still within the control values. Growing of willows leads to stabilization of soil solution reaction, higher concentration of ammonium nitrogen, and lower concentration of nitrate nitrogen and potassium, compared with the control. We have established decreased concentrations of humus vs. control in both cases – growing of willows and apple-trees, which figure correlates with the number of pedotrophs. Notwithstanding the lowered number of some physiological groups of microorganisms, the soil with willows was characterized by highly intensive mineralization processes, in particular those of transformation of organic matters.*

An open-field long-term fertilization experiment was set up during 2011 with willow (Salix triandra x Salix viminalis 'Inger'), grown as an energy crop. The brown forest soil was treated during June 2011, May 2013, and May 2016 with municipal biocompost (MBC), municipal sewage sludge compost (MSSC), willow ash (WA) and sulfuric urea (SU) and two times (2011, 2013) with rhyolite tuff (RT). Thus, the most indicative changes in the soil microbiota against the control plot were found in case of the use of municipal sewage sludge compost; rise in the number of intestinal bacteria, ammonifiers, micromycetes and actinomycetes. In case of the use of municipal biocompost rise in the levels of intestinal bacteria, microscopic fungi, actinomycetes, pedotrophs and cellulolytic bacteria were found. While calculating the mineralization/immobilization index, it was shown that the most significant deviation from the control plot was found in rhyolite tuff treated soil – a decrease by 6 times, and in case of willow ash by 2.3 times, which proves the inhibition of mineralization of the organic substances in the soil.
Key words: *bioremediation, soil microbiota, mineralization processes, nitrogen fixators, energy crops.*
Addresses: *1 – Uzhhorod National University, Faculty of Biology, Department of Genetics, Plant Physiology and Microbiology, 32, Voloshyna str., Uzhhorod, 88000 Ukraine; e-mail: maryna.krivcova@gmail.com*
2 – Clinic «Hemo Medica», Uzhhorod, Ukraine; e-mail: nadyabobryk88@gmail.com
3 – University of Nyíregyháza, Institute of Engineering and Agricultural Sciences, Department of Agricultural Sciences and Environmental Management, Nyíregyháza, Hungary; e-mail: simon.laszlo@nye.hu

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

4 – University of Presov Department of Ecology Prešov, Slovakia; e-mail: ivan.salamon@unipo.sk

Вступ
Енергетична верба, як вид з широкими адаптаційними можливостями та широким спектром застосування, займає особливе місце серед енергетичних рослин.

У країнах Євросоюзу використання енергетичних культур набуває дедалі більших масштабів. В Україні також застосовують плантаційне вирощування верби в якості джерела енергії (Київська, Донецька, Івано-Франківська, Волинська, Львівська, Тернопільська та Закарпатська області).

Посилений антропогенний вплив сьогодення спричинив і продовжує спричиняти погіршення стану природних екосистем. Раніше нами встановлено, що тривале функціонування залізничного транспорту в умовах Закарпаття може виступати джерелом забруднення ґрунтів кислоторозчинними формами важких металів (Zn, Ni, Pb, Cu) (Bobryk 2015). Виявлено суттєву перебудову мікробних ценозів ґрунту на прикладі призалізничних територій в умовах Закарпаття (Bobryk et al. 2012; Bobryk et al. 2013; Mykailo et al. 2013; Nikolajchuk et al. 2014; Bobryk et al. 2016), урбанізованих екосистем на прикладі м. Ужгород (Kryvtsova et al. 2017b), ґрунтів у зоні впливу лісохімкомбінату (Kryvtsova et al. 2017c). У зв'язку із встановленими закономірностями стану ґрунтової мікробіоти виникає необхідність подальшого дослідження даного напрямку і впровадження заходів біоремедіації.

У науковій літературі обґрунтовано можливість використання для фіторемедіації земель, забруднених важкими металами, дерев роду *Salix spp.* (Watson et al. 2003; Mahar et al. 2006; Rodkyn 2011). Доведена важлива роль представників родів *Salix* і *Populus* в самоочищенні екосистем Тиси від Cd (Boiko et al. 2008).

Вербу можна ефективно вирощувати на ґрунтах з підвищеним вмістом свинцю і кадмію, наприклад вздовж дороги чи поблизу промислових об'єктів, з подальшим використанням деревини в якості біопалива. Колективом французьких вчених (Lebrun et al. 2017) також доведена ефективність використання даної культури для стабілізації вмісту свинцю (при застосуванні біовугілля).

Вчені доводять, що акумуляція важких металів представниками роду *Salix* можлива завдяки специфічній ризосферній мікрофлорі. З ризосфери верби *Salix caprea* виділено 44 штами бактерій, стійких до дії Zn і Cd (Weyens et al. 2013).

Встановлено, що посадка енергетичної верби на ґрунтах, забруднених важкими металами, позитивно впливає на різноманіття мікробних угруповань та загальну біологічну активність ґрунтів (Szili-Kovács et al. 2006; Truu et al. 2009; Kuffner et al. 2010; Xue et al. 2015; Kryvtsova et al. 2017a; Kryvtsova et al. 2018). Існує думка про те, що енергетична верба швидко вичерпує запаси мікро- та макроелементів ґрунту (Gyuricza et al. 2011). З іншої точки зору, ступінь виснаження земель вербою в 3-5 разів нижча, ніж зерновими культурами, крім того 60-80% поживних речовин повертається в ґрунт з опалим листям (Heletukha et al. 2014).

З метою оцінки показників ризосферної мікробіоти енергетичної верби в порівнянні з іншими плодовими культурами та обґрунтування ефективності застосування добрив досліджено стан мікробіоти ризосфери *Salix viminalis* у порівнянні з ризосферою плодової культури *Malus sp*. та за умов внесення експериментальних добрив при культивуванні *Salix triandra x Salix viminalis* 'Inger'.

Матеріал та методика
Перше дослідження проведено в межах програми «Шведська енергетична верба» ДП "Голланд Плант Україна" (с. Тарнівці, Ужгородський р-н, Закарпатська обл.) З метою визначення стану ґрунтової мікробіоти було сформовано 3 моніторингові ділянки: 1 – контрольна, лучна ділянка в межах підприємства; 2 – ділянка-маточник, насаджена енергетичною вербою (*Salix viminalis*), 3 – ділянка, насаджена яблунями (*Malus sp.*).

Дослідження з вивчення впливу експериментальних добрив на мікробіоту ґрунту в умовах вирощування *Salix viminalis* було проведене на базі науково-дослідного інституту Ніредьгазсьго університету, Ніредьгаза. Угорщина. Контролем слугував ґрунт без внесення добрив. Тип досліджуваного ґрунту – бурий лісовий. Фізико-хімічні властивості: pH_{H2O} – 8,10; pH_{KCl} – 7.52,; вміст гумусу – 1.51 %; NH_4-N (мг/кг) –5.68; NO_3-N (мг/кг) – 6.37; P–713, K–5653, Ca–21773, Mg–5471, Cu–12.7; Mn–653, Zn–44.3; As–38.3; Cd–0.11; Pb–13.6 мг/кг (при екстракції розчином HNO_3–H_2O_2). Протягом квітня 2011 року в умовах польового експерименту вносили

добрива різних видів під насадження енергетичної верби (*Salix triandra* x *Salix viminalis* 'Inger').

Варіанти удобрення:

• сірчана сечовина (СС) - 100 кг/га сухої ваги з 46% азоту (виробник NitrogénművekVegyipari Co., Pétfürdő, Угорщина);

• муніципальний біокомпост (МБК) - 20 т/га, вміст сухої речовини 75-76% (виробник TérségiHulladék-Gazdálkodási Ltd., Nyíregyháza, Угорщина);

• муніципальний компост компонентів стічних вод (МКСВ) - 15 т/га, вміст сухої речовини 48-56% (виробник Nyírségvíz Ltd., Nyíregyháza, Угорщина);

• риолітовий туф (РТ) - 30 т/га, вміст сухої речовини 18% (виробник Colas-ÉszakkőBányászati Ltd., Tarcal, Угорщина);

• зола верби (ЗВ) - 300 кг/га, вологість 1%, виготовлена в університеті Ніредьгази шляхом спалювання пагонів верби без листків.

Площа однієї дослідної ділянки становила 27 м^2, де було висаджено по 40 кущів верби. Повторність досліду 4-кратна.

Чисельність мікроорганізмів ґрунту у еколого-трофічних групах визначали методом серійних розведень ґрунтової суспензії з використанням диференційно-діагностичних поживних середовищ (Zvyagintsev et al. 1991). Амоніфікуючі мікроорганізми (амоніфікатори) враховували на м'ясопептонному агарі (МПА), мікроміцети – на середовищі Сабуро, актиноміцети та мікобактерії – на крохмаль-аміачному агарі (КАА), бактерії групи кишкової палички (БКГП) – на середовищі Ендо, олігонітрофільні мікроорганізми (олігонітрофіли) – на середовищі Ешбі, педотрофи – на ґрунтовому агарі, целюлозолітичні мікроорганізми – на середовищі Гетчинсона, *Azotobacter* – за методом обростання грудочок ґрунту на середовищі Ешбі. Результати виражали числом колонієутворювальних одиниць (КУО) на 1г абсолютно сухого ґрунту.

Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті визначали за К. Андреюк (Andreiuk et al. 2001). Коефіцієнт мінералізації-іммобілізації ($К_{м\text{-}і}$) розраховували як відношення кількості мікроорганізмів, що виросли на КАА та МПА відповідно. Коефіцієнт педотрофності ($К_{пед}$) розраховували як відношення мікроорганізмів, що виросли на МПА та ґрунтовому агарі.

Статистичний аналіз експериментальних даних проводився за допомогою програмного забезпечення MS Excel 10.0 з використанням аналізу дисперсії (ANOVA). Для множинного порівняння вибірок використано тест Тьюкі. Відмінності були визнані статистично значущими за $P < 0,05$.

Результати

В результаті проведення мікробіологічного аналізу ґрунтів були встановлені наступні закономірності. Чисельність амоніфікаторів знижувалась порівняно з контролем (115,67±2,83 КУО/1 г сух.гр.) як при вирощуванні верби (5,67±1,45 КУО/1 г сух. гр.), так і яблучних культур (10,00±1,00 КУО/1 г сух.гр.) (рис. 1). Таку ж тенденцію встановлено для ґрунтових актиноміцетів. Їх чисельність у контрольних ґрунтах перевищувала майже у 8 разів чисельність у ризосфері яблуні та верби.

Зниження чисельності мікроорганізмів реєстрували і щодо мікроміцетів. При цьому достовірне зниження показників реєстрували більшою мірою для яблуні, ніж верби.

У випадку целюлозолітичних бактерій, їх кількість достовірно відрізнялась у ґрунті усіх варіантів і була найнижчою за умов вирощування яблуневих культур. Чисельність олігонітрофіли теж зменшувалась при вирощуванні обох культур порівняно з контролем (до 8 разів – верба і до 16 разів – яблуня).

У ґрунті при вирощуванні верби та в контрольному варіанті відсоток азотфіксаторів був високий і становив 98,89-100%, а у випадку вирощування яблуні їх вміст був менший майже у 5 разів. Одночасно чисельність БКГП зростала до 10 разів порівняно з контролем. Найбільшу чисельність педотрофів реєстрували в контролі, а при вирощуванні плодових та енергетичних культур їх кількість знижується в 6-7 разів.

Отримані результати узгоджуються з дослідженнями інших авторів (Horielov et al. 2017). При мікробіологічному дослідженні карбонатних ґрунтів Київської області з різними енергетичними культурами встановлено, що кількість актиноміцетів була меншою порівняно з контролем. Проте кількість мікроміцетів перевищувала значення контрольного варіанту (40 тис. КУО/1г сух. гр.). Кількість амоніфікаторів залишалась приблизно на одному рівні.



Рис. 1. Мікробний ценоз ґрунтів за умов вирощування енергетичних та плодових культур (1 – контроль, 2 –верба, 3 – яблуня)

Fig. 1. Microbial coenosis of soils in conditions of growing energy and fruit crops (1 – control, 2 – willow, 3 – apple-tree)

На основі отриманих результатів автор робить висновок про збагачення ґрунту агрономічно цінними мікроорганізмами та сприяння накопиченню у ньому органічної речовини внаслідок вирощування різних сортів верби, зокрема гібридних форм.

Визначення спрямованості мікробіологічних процесів у ґрунті за умов антропологічного впливу відносять до важливих завдань мікробіологічного моніторингу (Patyka, Kolodiazhnyi 2014). Розраховані коефіцієнти та індекси відображають елементи морфофункціональної структури мікробних ценозів, а також розкривають спрямованість ґрунтових процесів.

Коефіцієнт мінералізації й іммобілізації азоту ($К_{м\text{-}і}$) показує інтенсивність процесів мінералізації та засвоювання азотних сполук, а також характеризує рівень напруженості мобілізаційних процесів у ґрунті.

Встановлено, що контрольні ґрунти характеризуються низькими показниками $К_{м\text{-}і}$ (0,27) (рис. 1). Низьким виявився і $К_{м\text{-}і}$ у ґрунтах при вирощуванні яблуні (0,4). При вирощуванні верби даний показник збільшувався майже вдвічі і становив 0,7.

Значення коефіцієнта, близькі до одиниці, вказують на збалансованість деструктивних та іммобілізаційних процесів у ґрунті (Myneev, Rempe 1990). Тому співвідношення процесів синтезу і розпаду визначає кількісний і якісний склад гумусу, а отже, потенційну родючість ґрунту (Andreyuk et al. 2001).

Індекс педотрофності ($К_{пед}$) характеризує ступінь засвоєння органічної речовини ґрунту мікроорганізмами, а отже, функціональність структури мікробного ценозу ґрунту. Низькі показники педотрофності свідчать про гальмування мінералізації органічних речовин. Підвищення індексу свідчить про зростання інтенсивності перетворення органічних речовин у ґрунті (Malynovska 2011). У контрольних ґрунтах та при вирощуванні яблуневих культур індекс педотрофності був низький і становив 0,26 та 0,28 відповідно. При вирощуванні верби даний показник становив 0,8, що свідчить про інтенсивне розкладання органічної речовини.

Отже, при вирощуванні верби виявлено зниження кількості амоніфікаторів, мікроміцетів, актиноміцетів, целюлозолітичних та олігонітрофільних мікроорганізмів порівняно з контролем. У ґрунті при вирощуванні яблуневих культур кількість мікроорганізмів є вищою, проте не перевищує показники контролю. Незважаючи на знижену чисельність мікроорганізмів деяких фізіологічних груп, ґрунт за умов вирощування верби характеризувався високою інтенсивністю

мінералізаційних процесів, зокрема процесів трансформації органічної речовини.

В другому польовому досліді, при вирощуванні гібриду *Salix triandra x Salix viminalis* 'Inger' з застосуванням різних вдів добрив, спостерігалися такі зміни в мікробоценозі ґрунту. Так, статистично достовірне зростання амоніфікаторів спостерігалося у ґрунті при внесенні МКСВ (табл. 1).

Таблиця 1. Мікробіоценоз ґрунту з насадженнями верби після застосування добрив

Table 1. Soil microbiocoenosis after soil application of various additives and an artificial fertilizer as a top-dressing

Варіант досліду	Кількість мікроорганізмів еколого-трофічних груп, млн. КУО / 1 г абс. сух гр. (M ± m, n = 3)							
	амоніфікатори	БКГП	мікроміцети	актиноміцети	педотрофи	міксобактрії	олігонітрофіли	целюлозолітичні
Контроль	2.0± 0.9a	0.5± 0.1b	0.4± 0.1b	2.2± 1.2b	1.6± 0.2a	0.4± 0.1c	3.2± 0.4c	1.2± 0.2d
СС	2.8± 1.3a	1.1± 0.1c	0.2± 0.1 a	1.6± 0.1b	8.0± 1.0d	0.3± 0.1 ab	2.3± 0.1 b	1.5± 0.1e
МБК	2.7± 0.5a	1.5± 0.3 cd	0.9± 0.1 d	2.9± 0.6 bc	5.1± 0.9c	0.2± 0.1a	3.5± 0.2c	2.0± 0.5f
МКСВ	4.5± 1.2 ab	1.2± 0.1c	1.7± 0.1f	5.2± 0.9d	2.0± 0.6a	0.3± 0.1c	1.2± 0.2 a	0.3± 0.1 a
РТ	3.0± 1.7a	0.3± 0.1a	1.2± 0.1e	0.6± 0.2a	4.4± 0.6c	0.4± 0.1 cd	1.4± 0.6 a	0.6± 0.1 b
ЗВ	3.0± 0.9a	0.4± 0.1a	0.5± 0.1c	1.4± 0.1b	2.0± 0.2 ab	0.2± 0.1a	1.0± 0.4 a	0.9± 0.1c

Примітка: літерами a–f позначено статистично достовірні відмінності кількості мікроорганізмів ($P < 0,05$).

Чисельність БКГП при внесенні СС збільшувалась у 2 рази, при внесенні МКСВ – у 2,5 рази, при внесенні МБК – втричі порівняно з контролем. Найменшу чисельність бактерій даної групи встановлено при удобренні РТ та ЗВ. Чисельність мікроміцетів зростала при внесенні РТ та МБК. При внесенні МКСВ чисельність мікроміцетів перевищувала контрольні показники у 4 рази.

Чисельність актиноміцетів зростала при удобренні ґрунтів МКСВ та МБК. Їх чисельність при застосуванні СС та ЗВ достовірно не відрізняється порівняно з контролем. Значне чисельності бактерій, що містять мінеральні форми азоту, виявлено при використанні РТ.

Чисельність педотрофів зростала у ґрунті при використанні СС, РТ і МБК. При удобренні МКСВ їх чисельність не відрізнялась від контрольних показників. У ґрунтах експериментальних ділянок не було виявлено значних змін кількості міксобактерій, однак їх достовірне зниження встановлено при удобренні ґрунту ЗВ та МБК.

Чисельність олігонітрофілів зменшувалась втричі при удобренні ґрунтів МКСВ, ЗВ та РТ порівняно з контролем. Встановлено, що чисельність целюлозолітичних мікроорганізмів знижувалась у випадку застосування МКСВ та РТ порівняно з контролем.

За результатами досліду за методом обростання грудочок ґрунту у всіх варіантах експерименту було встановлено, що кількість вільноживучих азотфіксуючих мікроорганізмів (*Azotobacter*) становила 100%.

Обговорення

У науковій літературі підтверджуються отримані нами результати. Експериментально було доведено стимулюючий вплив муніципальних стічних вод на чисельність мікроорганізмів більшості груп (на прикладі сіро-коричневих підзолистих ґрунтів) (Joniec, Kwiatkowska 2012). У випадку повторного удобрення реєстрували підвищення мікробної біомаси, мікробного дихання та ферментативної активності (Truu et al. 2009).

У разі збалансованості співвідношення між процесами синтезу та розкладання органічних речовин значення індексів мінералізації дорівнює приблизно одиниці. Такі тенденції виявлено для ґрунту контрольної ділянки ($К_{м-і}$ = 1,12). Подібні значення реєстрували при внесенні МБК та МКСВ (1,08 та 1,16 відповідно). Наближення даних значень до контрольних співпадає з підвищеним числом актиноміцетів у ґрунтах. При внесенні у ґрунти СС та ЗВ індекс мінералізації знижується вдвічі, РТ – втричі порівняно з контролем.

Індекс педотрофності у контрольному варіанті становив 0,82. У варіантах з МБК та РТ даний показник перевищував контрольний вдвічі, а при внесенні СС – втричі. При використанні МКВС та ЗВ значення індексу педотрофності становили 0,44 та 0,48 відповідно.

За показниками мінералізації в ґрунті варіант удобрення МБК був найближчим до контролю. Отримані результати підтверджуються даними інших авторів. Внесення компосту в ґрунт з плантаціями енергетичної верби проводили для зміни напрямку зв'язків навколишнього середовища та підвищення цілісності і стійкості системи "ґрунт – мікроорганізм – рослина" (Romanchuk et al. 2016).

Отже, найбільш суттєві зміни мікробіоти ґрунту відносно контрольної ділянки були виявлені у випадку використання МКСВ: збільшення кількості кишкових бактерій, амоніфікаторів, мікроміцетів, актиноміцетів, а також зменшення числа олігонітрофілів та целюлозолітичних мікроорганізмів. Зниження інтенсивності мінералізаційних процесів встановлено при використанні РФ та ЗВ.

Висновки

На прикладі результатів двох експериментів в умовах різних систем удобрення встановлені наступні особливості розподілу деяких фізіологічних груп мікробного ценозу у ґрунтах.

Найбільш суттєві зміни мікробіоти ґрунту відносно контрольної ділянки були виявлені у випадку використання МКСВ: збільшення кількості кишкових бактерій, амоніфікаторів, мікроміцетів, актиноміцетів, а також зменшення числа олігонітрофілів та целюлозолітичних мікроорганізмів. Зниження інтенсивності мінералізаційних процесів встановлено при використанні РФ та ЗВ.

При зниженій кількості мікроорганізмів, ґрунт за умов вирощування верби, характеризується високою інтенсивністю мінералізаційних процесів порівняно з плодовими культурами. Показана також збалансованість мікробіоценозу ґрунту в умовах вирощування верби лозової (*Salix viminalis* L.). Зокрема, кількість вільноживучих азотфіксуючих мікроорганізмів (*Azotobacter*), які використовуються у біоіндикації і чутливо реагують на техногенне навантаження, становить 100%.

ANDREYUK, K.I., IUTYNS'KA, H.O., ANTYPCHUK, A.F., VALAHUROVA, O.V., KOZYRYTSKA, V.E., PONOMARENKO, S.P. (2001) *Funktsionuvannia mikrobnykh uhrupovan v umovakh antropohennoho navantazhennia*. Kyiv, Oberehy (in Ukrainian).

BOBRYK, N.Yu. (2015) Poshyrennia ta akumuliatsiia vazhkykh metaliv u gruntakh pryzaliznychnykh terytorii. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia, Ekolohiia,* 23(2), 183–189 (in Ukrainian).

BOBRYK, N., KRYVTSOVA, M., NIKOLAICHUK, V. (2012) Mikrobotsenoz gruntu luchnoi ekosystemy v umovakh vplyvu zaliznychnoho transportu. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia. Ekolohiia,* 20(2), 3–9 (in Ukrainian).

BOBRYK, N., KRYVTSOVA, M., NIKOLAICHUK, V. (2013) Biolohichna aktyvnist gruntiv pryzaliznychnykh ekosystem za mikrobiolohichnymy pokaznykamy. *Gruntoznavstvo,* 14(1–2), 40–48 (in Ukrainian).

BOBRYK, N.Yu., KRYVTSOVA, M.V., NIKOLAICHUK, V.I., VOLOSHCHUK, I. (2016) Reaktsiia mikrobioty gruntu na diiu vazhkykh metaliv u zoni vplyvu zaliznychnoho transportu. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia. Ekolohiia,* 24(1), 151–156 (in Ukrainian).

BOIKO, N., BALAZHI, S., HALAS, Yu., KOVAL, H., KOVALCHUK, N., KOZLOVSKYI, V., KOLESNYK, A., KOLESNYK, O., LEHANY, A., ROMANIUK, N. (2008) *Zabrudniuvachi ta yikh vplyvy na ekolohichno vrazlyvi ekosystemy Verkhnoho Potyssia.* Uzhhorod, Nieregyhaza (in Ukrainian).

GYURICZA, CS., HEGYESI, J., KOLHELB, N. (2011) Rövid vágásfordulójú fűz (Salix sp.) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és életciklus-elemzésének eredményei. [Experience drawn from the production of short harvest cycle willow (Salix sp.) as energy crop and results of its life cycle analysis]. *Növénytermelés*, 60(2), 45–65 (in Hungarian).

HELETUKHA, H.H., ZHELIEZNA, T.A., TRYBOI, O.V. (2014) Perspektyvy vyroshchuvannia ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini. *Analitychna zapyska BAU* Available at: http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf (in Ukrainian).

HORIELOV, O.M., ELLANSKA, N.E., YUNOSHEVA, O.P., HORIELOV, O.O., VIROVKA, V.M. (2017) Biolohichna aktyvnist gruntu enerhetychnykh kultur. *Naukovi dopovidi NUBIP Ukrainy*, 1(65). Available from: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8125 (in Ukrainian).

JONIEC, J., KWIATKOWSKA, E. (2012) Microbiological activity of soil amended with granulated fertilizer from sewage sludge. *Journal of Elementology*, 1, 143–154 DOI: 10.5601/jelem.2014.19.1.586.

KRYVTSOVA, M., BILAK, O., SALAMON, I., BOBRYK, N., CHYCHERSKA, M. (2018) Soil microbiota in conditions of growing Salix viminalis and Malus sp. *International Scientific proceedings of conference for Young Scientists «Regional problems of environmental protection»*. May 30 –June 1, 2018, Ukraine, Odessa, 8–13.

KRYVTSOVA, M., BOBRIK, N., KOLESNIK, A., SIMON, L. (2017a) Microbiota of upper soil in a long-term open-field fertilization experiment with energy willow (Salix sp.). *Proceedings of Abstracts. International Conference on Long-term Field Experiments* (Ed. Makádi, M.). Nyíregyháza, Hungary. 27–28 September, 2017, 42.

KRYVTSOVA, M., KOLESNYK, A., IGNATKO, T., BOBRIK, N., KOGUCH, T. (2017b) Ecological state of urban ecosystems (on the example of lawns in Uzhhorod). *Proceedings boocks of full papers. Ecology symposium.* Kayseri, Turkey. 11-13 May, 2017, 301–308.

KRYVTSOVA, M., BOBRIK, N., SABOV, M., SABOV, M. (2017c) Mikrobiolohichna indykatsiia gruntiv u zoni vplyvu Perechynskoho lisokhimkombinatu. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 258–263. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.258-263 (in Ukrainian).

KRYVTSOVA, M., SIMON, L., BOBRYK, N., TIMOSHOK, N., SPIVAK, N., DOCTOR, K. (2018) The influence of energy willow (Salix viminalis L.) cultivation on soil microbiota. *Proceedings of Abstracts. Permaculture and organic agriculture. International scientific and practical conference.* Uzhhorod, Ukraine. 24–25 February, 2018, 23–25.

KUFFNER, M., DE MARIA, S., PUSCHENREITER, M., FALLMANN, K., WIESHAMMER, G., GORFER, M., STRAUSS, J., RIVELLI, A.R., SESSITSCH, A. (2010) Culturable bacteria from Zn- and Cd-accumulating *Salix caprea* with differential effects on plant growth and heavy metal availability. *Journal of Applied Microbiology,* 108(4), 1471–1484. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04670.x.

LEBRUN, M., MIARD, F., NANDILLON, R., HATTAB-HAMBLI, N., SCIPPA, G., BOURGERIE, S., MORABITO, D. (2017) Eco-restoration of a mine technosol according to biochar particle size and dose application: study of soil physico-chemical properties and phytostabilization capacities of Salix viminalis. *Journal of Soils and Sediments,* 18(6), 2188–2202. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s11368-017-1763-8.

MAHAR, J., MAHAR, M., KHAN, M. (2006) Comparative Study of Feature Extraction Methods with K-NN for Off-Line Signature Verification. *International Conference on Emerging Technologies*. http://dx.doi.org/10.1109/icet.2006.335945.

MALYNOVSKA, I. M. (2011) Sklad mikrobnykh uhrupovan korenevoi zony fitotsenoziv riznoho typu. *Mikrobiolohiia i biotekhnolohiia,* 4, 60–68 (in Ukrainian).

MYKAILO, Y., BOBRYK, N., KRYVTSOVA, M., NYKOLAICHUK, V. (2013) Vlyianye antropohennykh polliutantov na pochvennyi mykrobyotsenoz v uslovyiakh Zakarpatia. *Ustoichyvoe razvytye,* 11, 130–136 (in Russian).

MYNEEV, V.H., REMPE, E. Kh. (1990) *Agrokhimiya, biologiya i ekologiya pochvy.* Moskva, Hosagropromizdat (in Russian).

NIKOLAICHUK, V., KRYVTSOVA, M., BOBRYK, N. (2014) Biohennist hruntiv Zakarpattia u zoni vplyvu antropohennoho zabrudnennia. *British Journal of Science, Education and Culture,* III(5), 68–74 (in Ukrainian).

PATYKA, M.V., KOLODIAZHNYI, O.Yu. (2014) Formuvannia mikrobnoho kompleksu chornozemu typovoho v ahrotsenozi pshenytsi ozymoi za riznykh system zemlerobstva. *Visnuk Poltavskoho Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii,* 2, 26–33 (in Ukrainian).

RODKYN, O.Y. (2011) *Proizvodstvo vozobnovljaemogo biotopliva v agrarnyh landshaftah: jekologicheskie i tehnologicheskie aspekty*. Minsk, MGJeU im. A.D. Saharova (in Russian).

ROMANCHUK, L.D., BORYSIUK, L.B., SHVAIKA, O.V. (2016) Stiikist ahrotsenozu enerhetychnoi

verby na rekultyvovanykh zemliakh Polissia Ukrainy. *Visnyk ZhNAEU,* 2(56), 37–43.

SZILI-KOVACS, T., MATHE-GASPAR, G., MATHE, P., ANTON, A. (2006) Microbial Biomass and Phosphomonoesterase Activity of the Willow (*Salix sp.*) Rhizosphere in a Heavy Metal Polluted Soil. *Agrokémia és Talajtan,* 55(1), 241–250. Available at: http://dx.doi.org/10.1556/agrokem.55.2006.1.26

TRUU, M., TRUU, J., HEINSOO, K. (2009) Changes in soil microbial community under willow coppice: The effect of irrigation with secondary-treated municipal wastewater. *Ecological Engineering,* 35(6), 1011–1020. DOI:10.1016/j.ecoleng.2008.08.010

WATSON, C., PULFORD, I.D., RIDDELL-BLACK, D. (2003) Development of a Hydroponic Screening Technique to Assess Heavy Metal Resistance in Willow (*Salix*). *International Journal of Phytoremediation,* 5(4), 333–349. DOI: 10.1080/15226510309359041

WEYENS, N., SCHELLINGEN, K., BECKERS, B., JANSSEN, J., CEULEMANS, R., VAN DER LELIE D. (2013) Potential of willow and its genetically engineered associated bacteria to remediate mixed Cd and toluene contamination. *Journal of Soils and Sediments,* 13, 176–188. DOI: 10.1007/s11368-012-0582-1

XUE, K., VAN NOSTRAND, J.D., VANGRONSVELD, J., WITTERS, N., JANSSEN, JO., KUMPIENE, J., SIEBIELEC, G., GALAZKA, R., GIAGNONI, L., ARENELLA, M., ZHOU, JZ., RENELLA, G. (2015) Management with willow short rotation coppice increase the functional gene diversity and functional activity of a heavy metalpolluted soil. *Chemosphere,* 138, 469-477.

ZVYAGINTSEV, D.G., ASEEVA, I.V., BABIEVA, I.P., BYZOV, B.A. (1991) *Metody pochvennoi mikrobiologii v biokhimii*. MGU. Moscow (in Russian).